

MENGUNGKAP TUBUH BATUAN BEKU DI WATUADEG DENGAN METODA GEOFISIKA TERPADU

Sismanto, Waluyo,
Lab. Geofisika, FMIPA, UGM

INTISARI

Watuadeg dilewati oleh jalur Sungai Opak, dimana tersingkap batuan beku basaltik berstruktur bantal yang memisahkan batu breksi di sebelah barat sungai dan batu pasir lempung-tufaan di sebelah timur sungai. Batuan beku tersebut dipelajari melalui beberapa Metoda geofisika untuk ditafsirkan struktur tubuh batuan secara fisis. Metoda fisika atau geofisika yang diterapkan adalah elektromagnetik (turam), gravitasi, magnetik, resistivitas, dan seismik bias dangkal.

Kajian ini berupa studi kasus yang dilakukan secara korelatif, komparatif dan interpretatif secara terpadu dari setiap Metoda geofisika tersebut di atas terhadap satu target batuan beku basaltik tersebut diatas.

Hasil studi ini menunjukkan bahwa batuan beku basaltik tersebut berupa aliran lava yang keluar melalui rekahan di dasar samudra akibat terjadinya sesar geser yang terorientasi di sepanjang sungai Opak.

REVEALING IGNEOUS ROCK BODY AT WATUADEG USING INTEGRATED GEOPHYSICAL METHODS

Sismanto and Waluyo
Geophysics Laboratory, FMIPA, UGM

ABSTRACT

A feature of igneous rock body of pillow lava has exposed in Watuadeg, at Opak River, which runs to the region. This body separates breccia to the west of the river and tuffaceous sandy clay stone to the east of the river. The igneous rock body has been investigated by using several geophysical methods separately. The methods used are electromagnetic TURAM, gravity, magnetic, resistivity, and refraction seismic.

This is a case study using comparative, correlative, and interpretative methods to be applied on integrated geophysical methods, in order to reveal a special target, such as the igneous rock body.

The results of this study show that the igneous rock body was formed from lava, which flowed and filled a crack along a slip fault system which is oriented along the river.

I. PENDAHULUAN

Watuadeg berada di wilayah Kelurahan Jogotirto, Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Peta situasi daerah ini dapat dilihat pada Gambar 1. Watuadeg dilewati oleh jalur sungai Opak, dimana tersingkap batuan beku basaltik berstruktur bantal. Batuan beku *basalt*, menurut Garland (1979) mempunyai ukuran butir yang cukup halus dan hampir sama dengan *Gabbro*. Kristalisasi yang cepat di dalam air/dasar laut akan membentuk struktur bantal seperti batuan yang terlihat di Watuadeg tersebut diatas. Batuan ini bersifat basis dan mengandung mineral-mineral *plagioclase* ($Ca Al_2 Si_2 O_8$), *Pyroxene* [$Ca(Mg Fe)SiO_2O_8$], serta *Olivin*. Batuan ini berwarna gelap karena kadar kwarsa (SiO_2)-nya sedikit.

Sebelah menyebelah batuan beku basalt yang tersingkap tersebut terdapat singkapan batu pasir-lempung tufaan di sebelah timur sungai dan singkapan batu breksi di sebelah barat sungai.

Keadaan fisis batuan beku tersebut di atas akan diselidiki dengan Metoda-Metoda geofisika secara terpadu. Metoda-Metoda yang dipakai adalah: elektromagnetik, resistivitas, gravitasi, magnetik dan seismik bias (dangkal). Untuk menyelidiki struktur batuan yang terdiri dari beberapa medium, Metoda resistivitas dapat digunakan apabila ada perbedaan daya hantar listrik yang kontras pada sistem medium, Metoda gravitasi apabila ada perbedaan densitas, Metoda elektromagnetic (TURAM) apabila ada perbedaan kandungan logam yang tinggi (mampu menimbulkan medan sekunder yang cukup kuat), Metoda magnetik apabila ada perbedaan kerentanan magnet (suseptibilitas) yang cukup besar, dan Metoda seismik bias apabila ada perbedaan kecepatan gelombang yang cukup besar pada sistem medium yang bersangkutan.

II. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

2.1. Masing-Masing Metoda Geofisika Secara Terpisah

Batuan beku berstruktur bantal yang tersingkap di sungai Opak di Watuadeg sangat menarik untuk diselidiki penyebarannya. Beberapa Metoda geofisika telah diterapkan untuk mengungkapkan keberadaan batuan beku tersebut dengan survai yang terpisah. Kirbani dan Wahyudi (1990) telah melakukan survai gaya berat (Metoda gravitasi); Mahfi dan Sudiartono (1990) telah menerapkan Metoda seismik bias dangkal; Suparwoto dan Sudiartono (1991) kembali mencoba menggunakan Metoda gravitasi; Suparwoto dan Sismanto (1990) telah menerapkan Metoda resistivitas; dan yang terakhir Sismanto (1993) telah melakukan survai untuk menyelidiki keberadaan batuan beku tersebut diatas dengan Metoda elektromagnetik TURAM. Hasilnya sudah tentu sangat beragam, kebanyakan hanya bisa mengungkap struktur besar batuan disekitarnya, tapi ada pula ada yang dapat mengungkap secara langsung keberadaan batuan beku tersebut. Pembahasan dan analisis hasil-hasil survai diatas secara terpadu melalui studi komparatif, korelatif, dan interpretatif tentu akan mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan satu Metoda. Uraian dan analisis hasil masing-masing Metoda akan dikemukakan dibawah ini:

2.1.1. Metoda Elektromagnetik TURAM

Survai elektromagnetik dengan Metoda TURAMtelah dilakukan oleh Sismanto (1993). Survai ini menggunakan lingkaran (loop) arus yang berukuran 4 x 100 m, yang dialiri arus bolak-balik dengan frekuensi tunggal 315 Hz. Jarak antara operator dan asisten koil a adalah 5m.

Hasil survai ini disajikan oleh gambar 2 untuk FSR (Field Strength Ratio) dan gambar 3 untuk PD (Phase Difference), yang digambarkan secara 3 dimensi dengan program paket Newgrid. Dari data tersebut, dijelaskan bahwa, di daerah A, AA dan B merupakan punggung dari tanggapan tubuh batuan beku terhadap FSR yang cukup lebar, dengan permukaan yang tidak smooth dan tidak kontinyu,

melainkan mempunyai topografi yang cukup kasar dan curam di bagian barat, tetapi cukup datar di bagian timur.

Anomali di atas menerus ke arah timur yang batasnya belum diketahui, karena nilai FSRnya masih relatif tinggi terhadap nilai FSR pada sisi bagian paling barat. Hal yang sama tampak pula pada tanggapan batuan beku terhadap PD nya.

Dari data elektromagnetik saja, struktur geologi bawah permukaan masih sulit untuk dapat diinterpretasikan dengan baik. Namun demikian Sismanto (1993), secara kasar telah mencoba menafsirkan keberadaan batuan beku di Watuadeg tersebut sebagai aliran lava yang keluar melalui rekahan yang terjadi akibat terjadinya sesar geser yang terorientasi di sepanjang sungai Opak di Watuadeg. Untuk mendukung pernyataan tersebut diperlukan data atau hasil survei geofisika yang lain.

2.1.2. Metoda Gravitasi

Survei gravitasi telah dilakukan di Watuadeg oleh Suparwoto dan Sudiartono (1991) dengan menggunakan gravitometer Worden. Survei ini meliputi luasan kurang lebih $(2,5 \times 1,5) \text{ km}^2$.

Setelah diadakan koreksi-koreksi drift, posisi (lintang), ketinggian udara bebas, serta Bouguer, diperoleh anomali Bouguer sederhana, yang kemudian dikontur dengan program paket Qgrid menghasilkan gambar 4, peta anomali gravitasi daerah Watuadeg.

Selanjutnya Suparwoto dan Sudiartono (1991), menyimpulkan bahwa di Watuadeg terdapat sesar naik dengan jurus tenggara-baratlaut memanjang disebelah timur sungai Opak dan kenaikan (*hanging wall*) disisi bagian barat. Akan tetapi sesar ini kecil, sehingga pergeserannya belum dapat diidentifikasi dengan data gravitas. Namun demikian ini justru sesuai dengan dugaan Van Bemelen tentang adanya sesar geser yang melewati daerah tersebut (Mahfi, 1984).

Walaupun keberadaan batuan beku di Watuadeg ini tidak terdeteksi dengan Metoda gravitasi, paling tidak keberadaan sebuah sesar, dimana batuan beku mengisi rekahannya sangat jelas terlihat pada anomali gravitasinya (yang boleh dikatakan sangat ideal untuk diinterpretasikan sebagai sesar). Sesar ini menjurus kearah tenggara - baratlaut.

2.1.3. Metoda Magnetik

Survai magnetik dengan *Proton Precision Magnetometer* seri MP-2 dan MBS-2 pernah dilakukan untuk mengungkapkan keberadaan batuan beku di Watuadeg. Survai ini meliputi luasan $(2,5 \times 1,5) \text{ km}^2$ di sekitar singkapan batuan beku yang terlihat di Watuadeg tersebut.

Setelah dilakukan koreksi variasi harian (*diurnal*) dan koreksi medan utama terhadap data lapangan, hasilnya yang berupa anomali magnetik kemudian digambar (dikontur) dengan menggunakan program paket Qgrid.. Data yang mempunyai ralat pengukuran lebih besar dari 10% dibuang.

Berdasarkan anomali magnetik tersebut Kirbani dan Wahyudi (1990), menyimpulkan bahwa anomali tersebut tenggelam dalam *noise* atau gangguan yang disebabkan oleh jembatan beton bertulang, jaringan PLN, dan aktivitas sarana transportasi penduduk di sekitar target. Dengan demikian tubuh batuan beku di Watuadeg dapat dikatakan tidak layak sebagai target aplikasi Metoda magnetik, karena interpretasi yang sulit dilakukan.

Namun demikian, apabila dibuat irisan A-A pada anomali magnetik tersebut diatas (gambar 5) akan diperoleh profil seperti yang terlihat pada gambar 6, yang menunjukkan adanya dwikutub yang cukup jelas. Jika kita dibandingkan dengan dwikutub yang dihasilkan oleh model lempeng tipis semi takberhingga dari Telford et.al. (1976) seperti yang terlihat pada gambar 7, secara kualitatif dapat disimpulkan bahwa keduanya mempunyai kemiripan atau korelasi yang cukup kuat. Oleh karena

itu dapat dikatakan bahwa anomali magnetik tersebut masih didominasi oleh pengaruh batuan beku yang muncul di Watuadeg tersebut, bahkan dapat diinterpretasikan bentuk tubuh batuan beku tersebut sebagai *sill*.

Sebaran batuan beku yang didekati dengan model lempeng semi takberhingga ini berorientasi ke arah utara selatan, dan lokasi kutub-kutub magnetiknya berada di sekitar singkapan batuan beku. Bentuknya dapat berupa sill dengan jurus mengarah ke utara-selatan, yang berarti agak menyimpang dari arah sesar berdasar survei gravitasi, yakni tenggara-baratlaut.

Adapun korelasi antara data magnetik dengan data elektromagnetik TURAM adalah sangat besar karena keduanya menggambarkan respon yang mencolok. Hal ini menunjukkan keduanya mampu mendeteksi target yang sama.

Dengan adanya pipa-pipa logam untuk saluran air yang ditanam di sepanjang sungai disekitar singkapan batuan beku membuat survei magnetik dan elektromagnetik TURAM menjadi semakin kompleks dan menarik (Sismanto, 1993). Proses lanjut seperti penapisan dengan Metoda kontinuitas terhadap data magnetik mungkin dapat dilakukan untuk memisahkan anomali magnetik oleh pipa dari anomali magnetik oleh batuan beku.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa tubuh batuan beku di Watuadeg mempunyai arah jurus utara-selatan dan struktur tubuhnya menyerupai intrusi sisipan sill.

2.1.4. Metoda Resistivitas

Keberadaan batuan beku di Watuadeg pernah diselidiki dengan menggunakan Metoda resistivitas. Alat yang dipakai adalah resistivitymeter OYO model ES-G1. Konfigurasi yang dipakai adalah konfigurasi dipole-dipole dan konfigurasi Wenner, dengan jarak antar elektrode 10 m dan diterapkan untuk *mapping* atau *traversing*. Hasil survei resistivitas ini disajikan pada gambar 8 untuk

konfigurasi dipol-dipol yang melintasi sungai Opak disebelah selatan jembatan, gambar 9 untuk konfigurasi Wenner yang menyeberangi sungai opak disebelah utara jembatan, dan gambar 10 untuk konfigurasi Wenner yang menyeberangi sungai Opak disebelah selatan jembatan.

Suparwoto dan Sismanto (1990) telah mencoba menginterpretasikan hasil-hasil survai resistivitas diatas. Hasil interpretasinya berupa struktur geologi yang disajikan pada gambar 11. Disini mereka menyimpulkan bahwa tubuh batuan beku yang tersingkap di Watuadeg tersebut memisahkan dua jenis batuan, batu pasir lempung tufaan disebelah timur sungai dan lapukan batu breksi di sebelah barat sungai. Sisipan batuan beku ini mempunyai jurus berarah tenggara-baratlaut dengan kemiringan kearah baratdaya, sesuai dengan jurus dan kemiringan patahan naik yang disimpulkan oleh dari survai gravitasi.

Gambar 9 dan 10 juga mengindikasikan bahwa sebaran batuan beku ke arah utara (dari lokasi jembatan) kemungkinan agak membelok ke timur (Suparwoto dan Sismanto 1990). Hasil ini sesuai dengan hasil interpretasi dari survai elektromagnetik TURAM, yang menunjukkan sebaran tubuh batuan beku membelok kearah timur di sebelah utara. Dengan demikian Metoda resistivitas mempunyai korelasi kuat dengan Metoda elektromagnetik, gravitasi, dan magnetik.

2.1.5 . Metoda Seismik Bias

Metoda seismik bias pernah diterapkan untuk menyelidiki keberadaan batuan beku di Watuadeg. Peralatan yang digunakan untuk survai seismik ini adalah seismograph *Nimbus* satu kanal. Sebagai sumber gelombang digunakan palu besar seberat 6 kg. Pengukuran dilakukan di sebelah timur dan barat sungai. Hasilnya disajikan dalam gambar 12 untuk pengukuran disebelah timur sungai dan gambar 13 untuk sebelah barat sungai.

Interpretasi yang dilakukan oleh Mahfi dan Sudiartono (1990) menghasilkan gambar 14. Kedua penulis tersebut menjelaskan bahwa batuan di sebelah timur

sungai dijumpai struktur dua lapis yang kemungkinan terdiri dari batu tufaan dan pelapukannya, sedangkan di sebelah barat sungai hanya dijumpai struktur satu lapis yang kemungkinan adalah lapukan batuan beku, pasir, boulder dan sebagainya yang dicirikan oleh banyaknya distribusi boulder atau breksi. Selanjutnya Mahfi dan Sudiartono (1990) menyatakan bahwa struktur lava bantal yang ada disana lebih dimungkinkan berupa intrusi *dyke* dari pada *sill*, mengingat tidak dijumpainya singkapan batuan yang sama ditempat lain, sehingga diduga batuan beku tersebut mempunyai kemiringan yang besar ($\approx 90^\circ$). Hasil interpretasi struktur bawah permukaan ini disajikan pada gambar 15. Perlu dicatat disini bahwa Mahfi dan Sudiartono, (1990) tidak menyebutkan adanya efek panggang yang terjadi pada batuan di sekitar intrusi yang lazim terjadi.

2.2. Metoda-Metoda Geofisika Secara Terpadu.

Berdasar hasil survai seismik bias, Mahfi dan Sudiartono (1990) menduga bahwa struktur batuan beku yang berupa lava bantal yang ada di Watuadeg lebih dimungkinkan berupa intrusi *dyke* dari pada *sill*. Suparwoto dan Sismanto (1990) juga telah menginterpretasikan tubuh batuan beku tersebut sebagai *dyke* berdasar hasil survai resistivitas yang dilakukan disana.

Sedangkan data magnetik cenderung mendukung adanya sisipan berupa *sill*, karena anomali magnetik yang diperoleh mendekati bentuk anomali magnetik yang dihitung berdasar model lempeng horizontal. Ini bertentangan dengan hasil interpretasi yang dilakukan oleh Mahfi dan Sudiartono (1990) serta oleh Suparwoto dan Sismanto (1990), yang menduga bahwa tubuh batuan beku tersebut adalah intrusi yang berupa *dyke*.

Hasil survai elektromagnetik TURAM tampaknya lebih sesuai bila batuan beku basaltik tersebut diinterpretasikan sebagai intrusi *dyke* yang relatif besar, karena sejauh ini batas anomali magnetic disebelah timur belum ditemukan karena liputan survai elektromagnetik tersebut tidak mencakup lebih jauh kesebelah timur.

Data bagian barat liputan survai elektromagnetik TURAM menunjukkan kemiringan yang tajam, sehingga batuan beku yang memberikan respon tersebut lebih menyerupai dyke dari pada sill.

Dilihat dari sudut lain dapat juga batuan beku di atas berupa aliran lava basaltik yang mengisi rekahan pada bidang sesar geser di sepanjang sungai Opak. Adanya sesar geser telah disinggung oleh Van Bemelen (Mahfi, 1984). Interpretasi ini sejalan dengan hasil survey resistivitas, elektromagnetik turam, seismik, dan gravitasi, yang kesemuanya menyimpulkan bahwa jurus batuan beku adalah tenggara-baratlaut.

Diskusi di atas menunjukkan bahwa interpretasi yang mengindikasikan batuan beku itu berupa intrusi basaltik yang berupa sill hanya didukung oleh data magnetik. Sedangkan yang menginterpretasikan sebagai intrusi basaltik berupa dyke diperoleh dari data seismik, resistivitas, dan elektromagnetik turam.

Penafsiran lain yang mengatakan bahwa batuan beku tersebut berupa aliran lava yang keluar di dasar samudra melalui rekahan akibat sesar geser juga didukung baik secara langsung maupun tidak langsung oleh semua data yang ada. Disini penulis ingin menambahkan: *jika batuan beku tersebut berasal dari aliran lava didasar laut yang membeku dengan cepat karena kontak dengan air laut, maka ada kemungkinan lava tersebut menyebar di dasar laut membentuk struktur semacam sill, seperti yang diinterpretasikan dari survai magnetik, sedang akar batuan beku tersebut membentuk dyke.*

III. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan diatas, dapat ditarik kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Survai terpadu geofisika dengan metoda-metoda elektromagnetik TURAM, gravitasi, magnetik, resistivitas, dan seismik bias dapat dilakukan untuk

mempelajari keberadaan batuan beku basaltik di Watuadeg (misal untuk praktek lapangan).

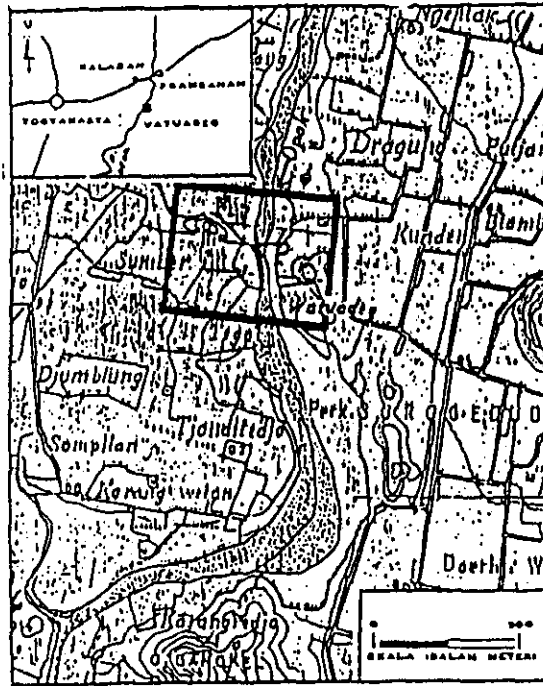
2. Keberadaan batuan beku basaltik yang tersingkap di Watuadeg boleh jadi mempunyai struktur dyke maupun sill.
3. Hampir semua metoda geofisika yang diterapkan mendukung dugaan bahwa batuan beku di Watuadeg berasal dari lava yang mengalir melalui rekahan pada sesar geser yang ada disana.

IV. UCAPAN TERIMA KASIH

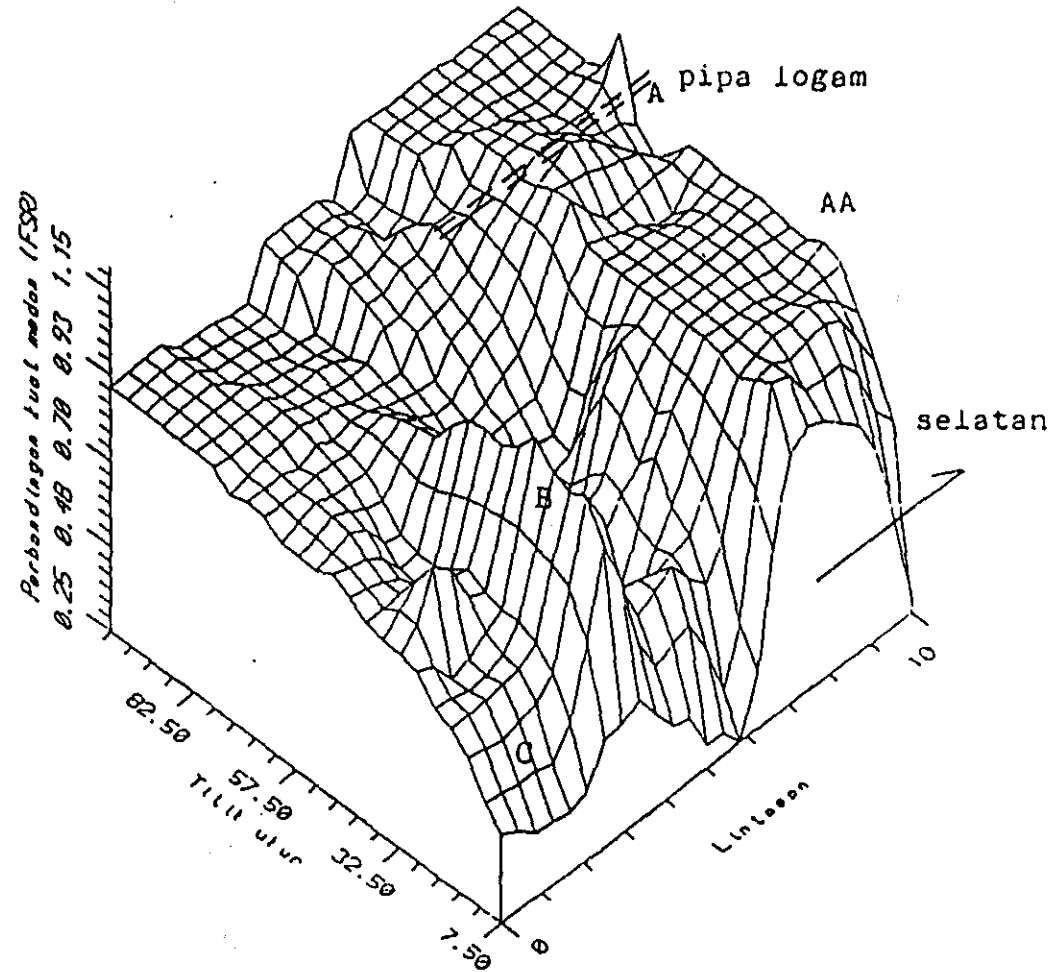
Terima kasih ditujukan kepada Fakultas MIPA, UGM yang telah membantu dana untuk menulis makalah ini, dan para staf Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika serta teman sejawat yang telah turut membantu pelaksanaan penelitian ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

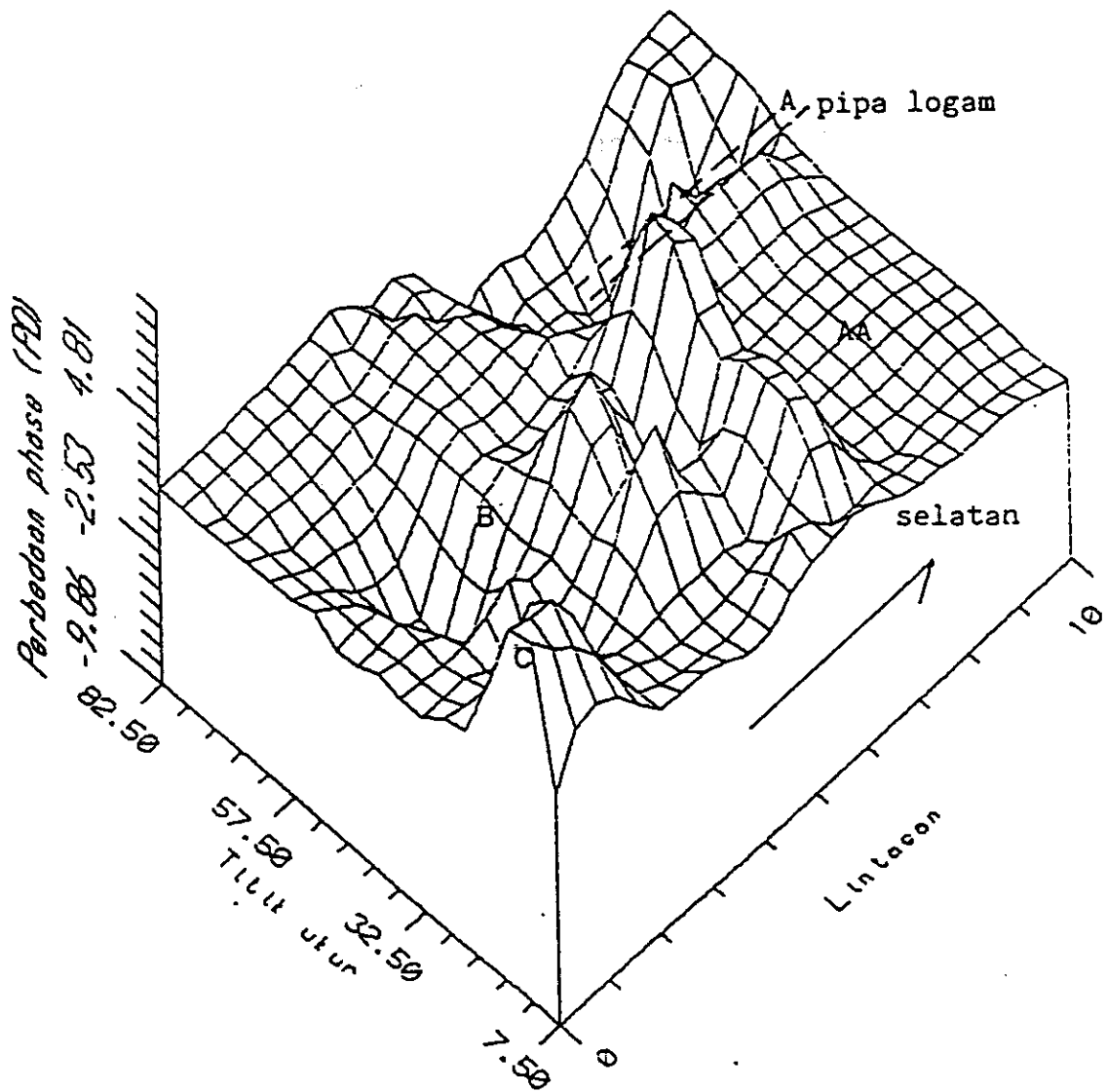
- Garland, G., D., 1979, *Introduction to Geophysics (mantel, core and crust)*. p.3, Second edition, W.B. Saunders Company, Toronto, Canada.
- Kirbani, S., dan Wahyudi, P., 1990, *Survey Lapangan Praktikum Geofisika dengan Metoda Magnetik di Watuadeg, Sleman*. FMIPA., UGM., Yogyakarta.
- Mahfi, A., 1984, *A Paleomagnetic study of Miocene and Eocene rock from Central Java, Indonesia*. Master thesis on University of California, Santa Barbara, USA.
- Mahfi, A., dan Sudiartono, 1990, *Survey Lapangan Praktikum Geofisika dengan Metoda Refraksi di Watuadeg, Sleman*. FMIPA., UGM, Yogyakarta.
- Sismanto, 1993, *Survey Elektromagnetik dengan Metoda TURAM Terhadap Batuan Beku Basaltik di Watuadeg Sleman, Yogyakarta*. FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Suparwoto dan Sudiartono, 1991; *Studi Kelayakan lokasi Praktikum Geofisika dengan Metoda Gaya Berat di Watuadeg, Sleman*. FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Suparwoto dan Sismanto, 1990; *Survey Lapangan Praktikum Geofisika dengan Metoda Geolistrik di Watuadeg, Sleman*. FMIPA., UGM., Yogyakarta.
- Telford, M.W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976; *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.



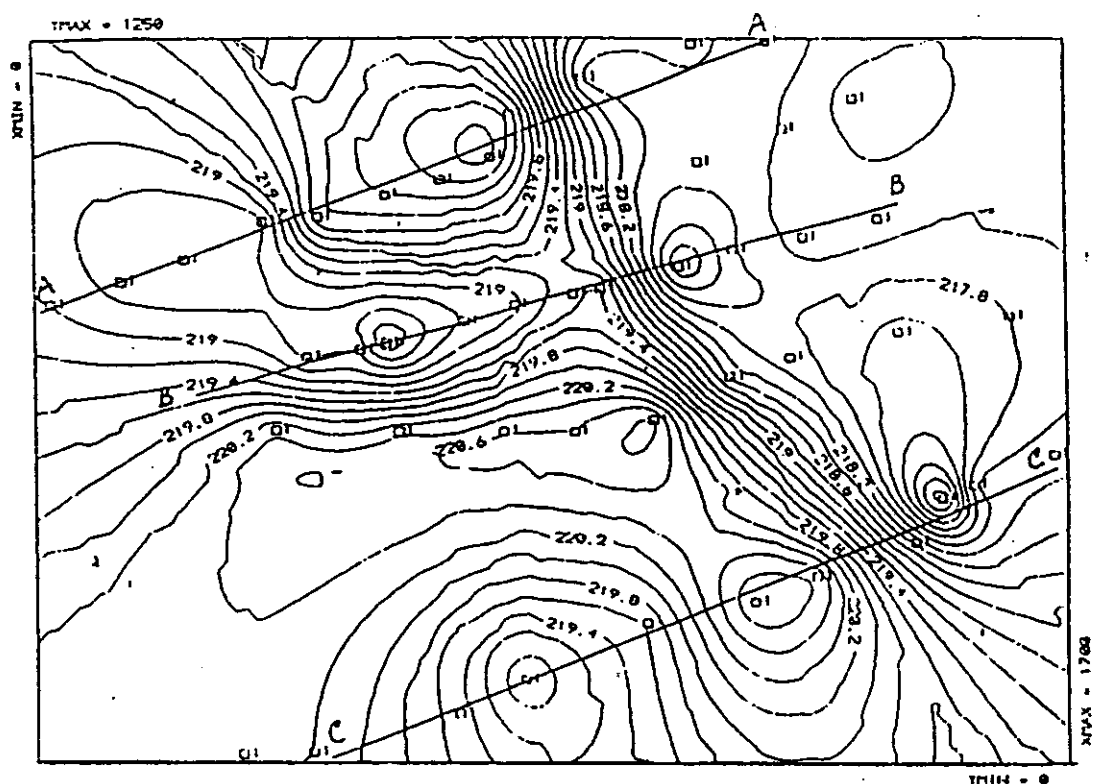
Gambar 1. Lokasi Penelitian di Watuadeg
M = Bukit Makam
P = Bukit Perkemahan
J = Singkapan



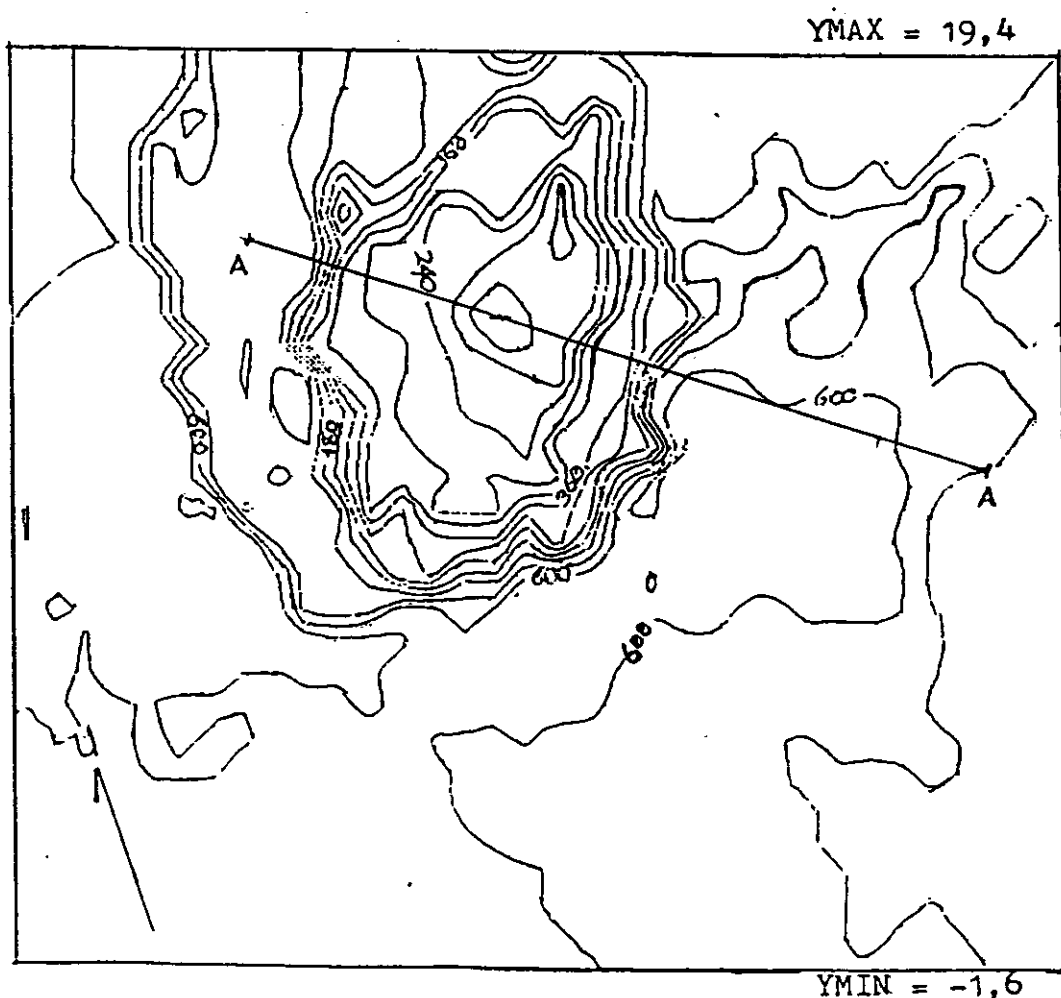
Gambar 2. Perbandingan kuat medan elektromagnetik sekunder terhadap kuat medan primer (FSR) TURAM Watuadeg 1993.
(Sismanto, 1993)



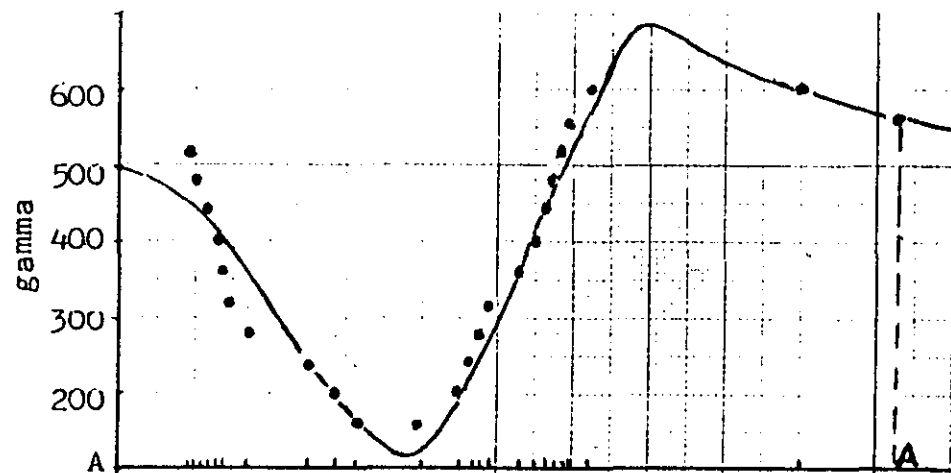
Gambar 3. Beda fase antara medan elektromagnetik TURAM sekunder terhadap medan elektromagnetik primer di Watuadeg 1993. (Sismanto, 1993).



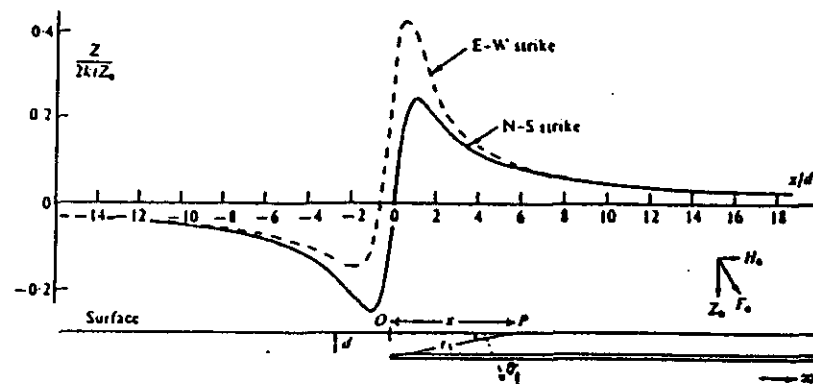
Gambar 4. Data anomali gravitasi (mgal) Watuadeg 1991. (Suparwoto dan Sudiartono, 1991)



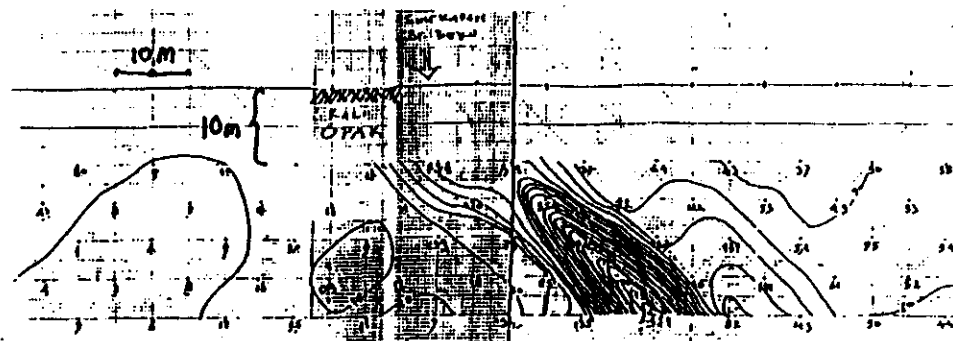
Gambar 5. Data anomali magnetik (gamma) Watuadeg 1990. (Kirbani dan Wahyudi, 1990).



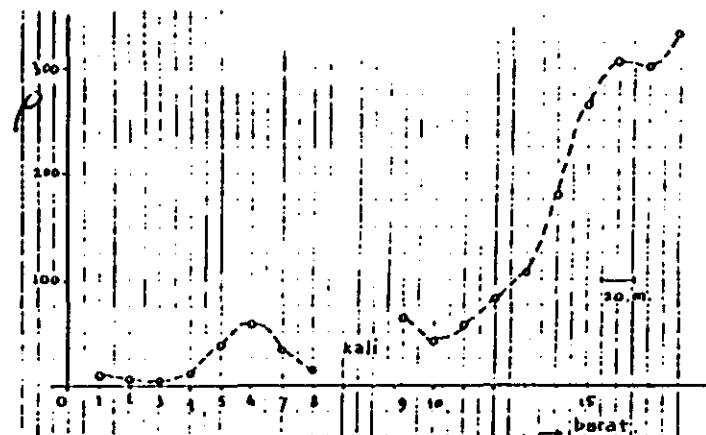
Gambar 6. Irisan A-A dari anomali magnetik.



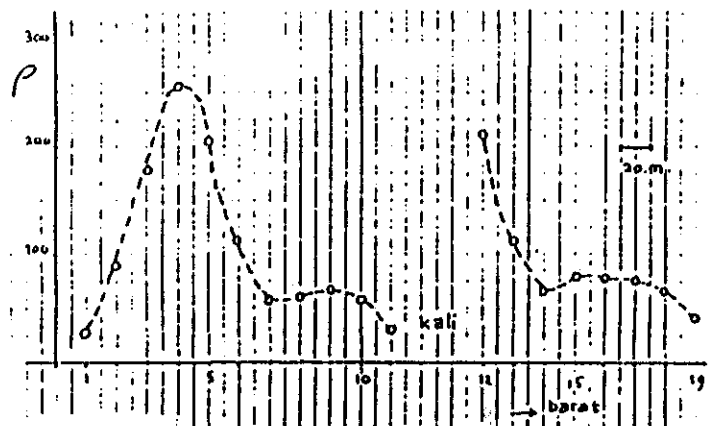
Gambar 7. Respon magnetik model lempeng tipis (Telford et al., 1976).



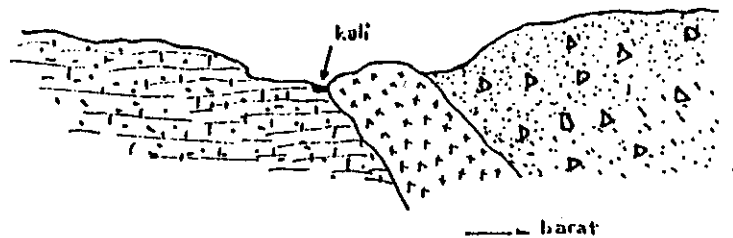
Gambar 8. Pseudo depth section pada lintasan 1 di Watuadeg $a = 10$ m, $n = 1$ sampai 5. (Suparwoto dan Sismanto, 1990).



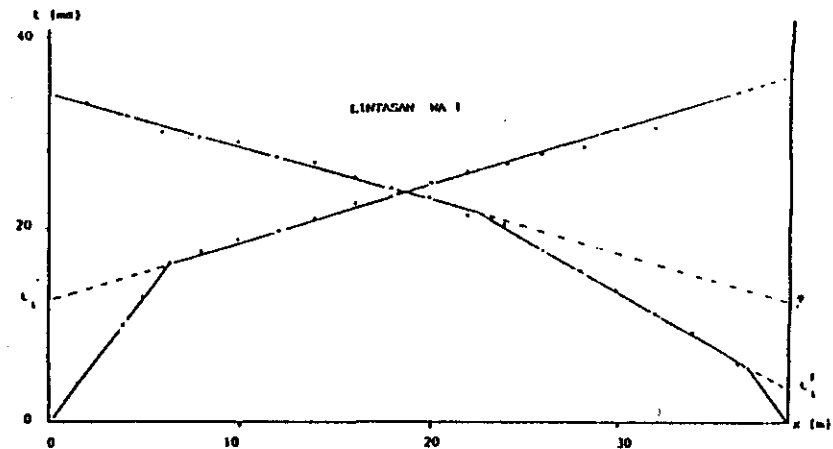
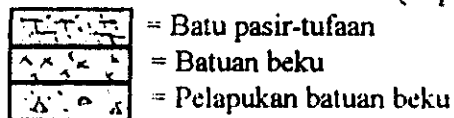
Gambar 9. Profil ρ sebagai fungsi jarak pada lintasan 1 susunan elektroda Wenner spasi $a = 10$ m. (Suparwoto dan Sismanto, 1990).



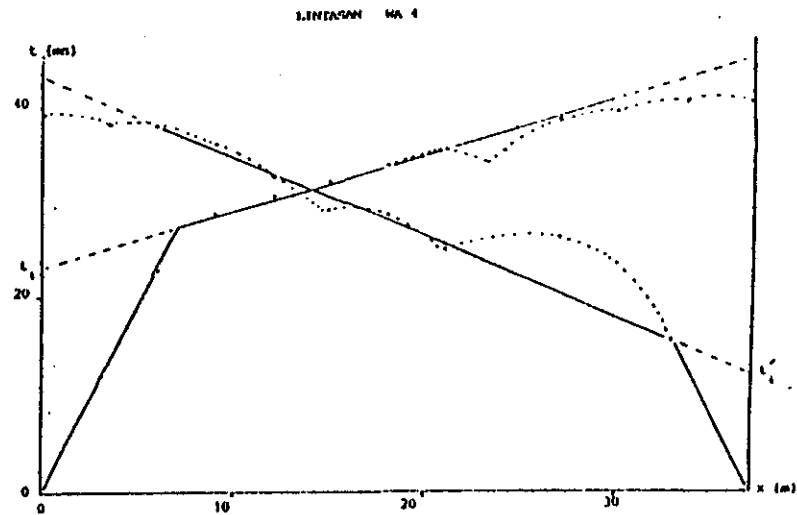
Gambar 10. Profil ρ sebagai fungsi jarak pada lintasan 2 susunan elektroda Wenner spasi $a = 10$ m. (Suparwoto dan Sismanto, 1990).



Gambar 11. Interpretasi geologi penampang lintang pada lintasan 1 (gambar 8.) (Suparwoto dan Sismanto, 1990).



Gambar 12. Contoh kurva jarak-waktu WA-1 sebelah timur sungai bagian utara. (Mahfi dan Sudiartono, 1990).



Gambar 13. Contoh kurva jarak - waktu WA-4 sebelah barat sungai bagian selatan. (Mahfi dan Sudiartono, 1990).